ChinaXiv合作期刊

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2019.04.13

近 60 a 来新疆不同海拔气候变化的时空特征分析①

张 音[1,2]， 古丽贤·吐尔逊拜[3]， 苏里坦[1]， 刘迁迁[1,2]

（1 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830011；
2 中国科学院大学资源与环境学院，北京 100049； 3 新疆水利水电科学研究院，新疆 乌鲁木齐 830049）

摘　要：全球变暖是当前全球气候变化研究的热点之一，新疆深居亚欧大陆内陆，地形气候复杂，探讨该区域气候变化与海拔的关系对全球气候变化研究具有重要的参考意义。基于1958—2017年新疆41个气象站的月和年平均气候数据，采用一元线性回归、Mann-Kendall（M-K）趋势分析和突变检验等方法分析该地区气候变化的时空分布与海拔的关系。结果表明：1958—2017年新疆年均气温、年均降水量均呈上升趋势，但增加幅度具有时间和空间差异。在时间上，北疆四季平均气温增温幅度均大于南疆（冬季除外），四季降水量增幅北疆大于南疆（夏季除外）；在空间上，北疆气温和降水的增幅均大于南疆。研究区各个站点气温呈现出南部高而北部低的空间格局，年均降水量北部多，南部低。各个站点气温倾向率总体随海拔增加而减少，年均降水量变化率随海拔升高而增加，在不同海拔带内部存在差异。综上所述，受全球气候变暖的影响，近60 a来新疆年均气温和年均降水量均呈上升趋势，尤其是北疆对全球气候变暖的响应较为敏感。

关 键 词： 新疆；不同海拔带；气候变化；回归分析；Mann-Kendall 检验
文章编号： 1000-6060(2019)04-0822-08(0822~0829)

气候是自然界的重要组成部分，是人类赖以生存和发展的基础，也是社会可持续发展的重要条件。但是近年来，随着人类活动的加剧，全球气候加剧变暖[1]。IPCC第五次评估报告（AR5，2014）[2]指出，1951—2012年，全球平均地表温度的升温速率为0.12(0.08~0.14)℃·(10 a)$^{-1}$，其中1983—2012年这30 a的地表温度已连续高于地球有仪器测试记录以来的任何一个10 a，2000—2010年是最暖的10 a。20世纪中国气候变化与全球变暖的总趋势一致。丁明军等[3]等对青藏高原及周边地区1971—2012年气温变化作了相关研究。李鹏飞等[4]研究近50 a京津冀地区气温降水与潜在蒸散量的变化，发现近50 a京津冀地区气温升高显著，大部分地区降水量减少，整个地区的潜在蒸散量都在减少。REN等[5]研究发现，在过去的100 a，中国的年均地表气温变化率从0.03 ℃·(10 a)$^{-1}$增加到0.12 ℃·(10 a)$^{-1}$，这种变暖在中国北方更为明显，在冬季和春季更为显著。

地处干旱半干旱地区的新疆，地形复杂，气候变化更为明显。近年来，由于气候变暖，水循环加快，导致冰川积雪融化、降水量增多，新疆年均气温、年均降水量总体呈上升趋势，引起国内外专家学者的普遍关注[6-8]。本文利用新疆1958—2017年气候数据，运用回归分析、气候趋势法、Mann-Kendall突变检验等方法，对近60 a来气温、降水两个气候要素在新疆不同地区不同海拔的变化特征进行分析探讨，旨在为当地经济可持续发展、生态环境建设提供一定的科学依据。

1 研究区概况

新疆位于亚欧大陆腹地，远离海洋，深居内陆，四周有高山阻隔，海洋气流不易到达，属干旱和半干旱地区。其地形复杂，由北到南分别是北部昆仑山脉，中部天山山脉，南部阿尔泰山脉。由于天山山脉横亘其间，将新疆划分成南北截然不同的两种气候，因此以天山为界，将天山以北划分为北疆，天山以南

① **收稿日期：**2018-09-30； **修订日期：**2018-12-10
基金项目：国家自然科学基金项目（U1603342，U1403182）；新疆维吾尔自治区自然科学特培计划项目（2019D03004）
作者简介：张音（1995-），女，山西平遥人，硕士研究生，研究方向为干旱区水文过程. E-mail：zhangyin17@mails.ucas.ac.cn
通讯作者：苏里坦（1972-），男，博士，研究员，研究方向为干旱区生态水文学. E-mail：sulitan@ms.xjb.ac.cn

chinaXiv:201908.00024v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201908.00024v1

划分为南疆[9]。新疆属于典型的温带大陆性气候，气温日较差大，日照时间充足，降水量少，气候干燥[10]。其水汽的主要来源是纬向西风环流和北冰洋的干冷气流，因而，形成新疆降水北疆多于南疆，西部多于东部的格局[11]。

2　数据来源与研究方法

2.1　数据来源

采用的数据来源于中国气象数据网，包括中国地面气候资料年值数据集和月值数据集，为确保气候数据系列的连续性和完整性，筛选其中 41 个气象站点，截取 1958—2017 年的气候数据作为研究，划分四季，以 3 ~ 5 月为春季，6 ~ 8 月为夏季，9 ~ 11 月为秋季，12 月和次年 1 月、2 月为冬季[12]，并按照海拔高度将研究区划分为 0 ~ 500 m、500 ~ 1 000 m、1 000 ~ 1 500 m、1 500 m 以上 4 个海拔带（图 1）。

2.2　研究方法

采用一元线性回归方法分析气温、降水量的变化趋势，绘制年际变化曲线；运用 ArcGIS 软件绘制研究区各站点分布图和气温降水量变化趋势图。

为研究气象要素 y 在气候变化中的长期变化趋势，一般采用一元线性回归方程来描述，公式如下：

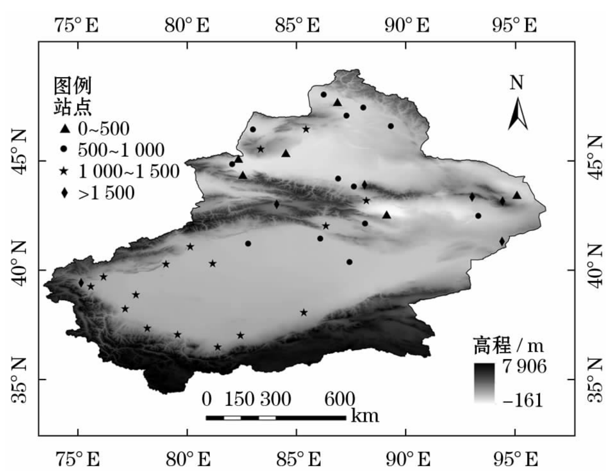
$$y = at + b \qquad t = 1,\ 2,\ \cdots,\ n \qquad (1)$$

其中：t 为时间序列（年），a 为回归系数，回归系数反映变化趋势，正为增加，负为减少，通常用 $a \times 10$ 来表示气象要素的变化速率，称之为气候倾向率[13]。

气候要素的突变检验采用非参数统计检验方法—Mann-Kendall（M-K）突变检验，研究气象因子的突变期，运用 Matlab 程序实现。该方法不需要样本遵从一定的分布，也不受少数异常点的影响，计算简便。其原理是对于时间序列 X，构造一个秩序列 S_k 以反映第 i 个时刻数值大于第 j 个时刻时，数值个数的累加值。并在时间序列随机的假设下，定义统计量 UF_k 如下：

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{Var(S_k)}} \qquad (k = 1,\ 2,\ \cdots,\ n) \qquad (2)$$

其中，$UF_1 = 0$，$E(S_k)$ 和 $Var(S_k)$ 分别是 S_k 的均值和方差。在进行突变检验时，需按时间序列的逆序再重复上述过程，计算 UB_k，同时使 $UB_k = -UF_k$（$k = n,\ n-1,\ \cdots,\ 1$）[14-15]。当 UF_k 或 UB_k 的值大于 0，表示序列呈上升趋势，反之，序列则呈下降趋势。在 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平下，显著性区间为（-1.96，$+1.96$），如果 UF_k 或 UB_k 超过临界线（± 1.96），表明序列上升或下降趋势显著。如果 UF_k 与 UB_k 两条曲线存在交点，且交点位于显著性区间内，那么交点就是突变点[16]。突变点即转折点，在突变点前后时间序列的变化趋势相反，因此在进行趋势检验前，必须先进行突变检验，若有突变，需以突变点分段进行趋势分析。



审图号：GS(2016)1585 号

图 1　研究区范围与气象站点分布

Fig. 1　Study area and meteorological site distribution

3　结果分析

3.1　气温与降水量的时间变化特征

3.1.1　年际变化　利用新疆 41 个气象站点数据计算出研究区及各区域各年的年均气温和年均降水量，如图 2 所示，分别为全疆、北疆和南疆各气象站点年均气温和年均降水量在 1958—2017 年的动态趋势，一元线性回归后 a 值均大于 0，可见年际尺度上，新疆年均气温和年均降水量，总体呈上升趋势，增温幅度和降水量增幅分别为 0.29 ℃·(10 a)$^{-1}$、8.09 mm·(10 a)$^{-1}$，其中气温增幅明显高于全球和中国的气温增幅。REN 等[5] 的研究表明，在全球变暖大背景下，中国北方变暖更为明显，这与该研究结果是一致的。

分地区分析，北疆年均气温低于全疆年均气温，南疆高于全疆，年均气温的增温幅度都比较大，全疆为 0.29 ℃·(10 a)$^{-1}$、北疆 0.33 ℃·(10 a)$^{-1}$、南疆 0.27 ℃·(10 a)$^{-1}$，北疆增温幅度最大，其中全疆、北疆、南疆年均气温的最大值均出现在 2015 年，

ChinaXiv合作期刊

分别为9.55 ℃、7.37 ℃、12.08 ℃,最小值分别出现在1984、1984、1967 年,分别为6.66 ℃、3.91 ℃、9.57 ℃;降水量的变化趋势比温度明显,北疆年均降水量最高,高于全疆,且高于南疆,增加幅度分别为北疆9.88 mm·(10 a)$^{-1}$、全疆8.09 mm·(10 a)$^{-1}$、南疆5.50 mm·(10 a)$^{-1}$,北疆的增幅最大。其中全疆、北疆、南疆年均降水量最大值分别出现在2016、2016、2010 年,分别为190.18 mm、256.67 mm、137.99 mm,最小值分别出现在1997、1974、1985 年,约为81.98 mm、100.24 mm、28.12 mm。

新疆气候地形复杂,庞大的天山山脉阻挡冷空气南侵,因而成为南北疆重要的气候分界线,北疆属于中温带、南疆属于暖温带,导致南疆年均气温要高于北疆。北疆纬度高,本身接受的太阳辐射就比南疆少,气温低,蒸发弱,且北疆地形呈喇叭状向西敞开,西部缺口有利于来自大西洋和北冰洋的湿润气流深入,而南疆相对北疆闭塞,进入南疆的水汽较少,因而形成新疆降水北疆多于南疆,西部多于东部的格局。

3.1.2 四季变化 为进一步研究新疆气候要素变化的时间特征,用气候倾向率分析四季变化。从四季变化趋势来看(表1),研究区四季年均气温和年均降水量都是增加的。四季平均气温的变化趋势分别为0.35、0.15、0.24、0.46 ℃·(10 a)$^{-1}$,四季温度增幅表现出冬季最大,变化最为剧烈,夏季最小,温度增加趋势不明显;全区降水也呈增加趋势,四季降水增幅分别为1.38、3.09、1.76、1.42 mm·(10 a)$^{-1}$,夏季增幅最大,春季最小。

研究区年均气温、四季平均气温增幅和年均降水量、四季平均降水量增加幅度还存在着明显的空间差异。年均气温增幅[北疆0.44 ℃·(10 a)$^{-1}$、南疆0.29 ℃·(10 a)$^{-1}$]和年均降水量增幅[北疆7.69 mm·(10 a)$^{-1}$、南疆5.49 mm·(10 a)$^{-1}$]都是北疆比南疆高。除冬季外,北疆其余季节的增温

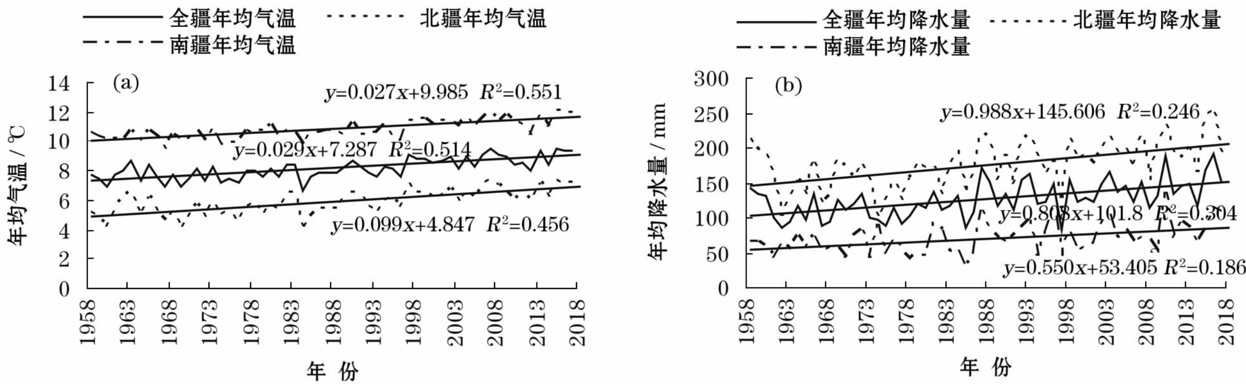


图2 研究区年均气温及年均降水量变化趋势

Fig. 2 Variation trend of annual average temperature and annual precipitation in the study area

表1 研究区不同海拔梯度的气候倾向率

Tab. 1 Climatic tendency rate of different elevation gradient in the study area

	海拔带/m	年气候倾向率		四季气温倾向率 / ℃·(10 a)$^{-1}$				四季降水倾向率 / mm·(10 a)$^{-1}$			
		气温 / ℃·(10 a)$^{-1}$	降水 / mm·(10 a)$^{-1}$	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
北疆	0~500	0.39	5.88	0.35	0.26	0.39	0.38	1.06	1.34	2.01	1.98
	500~1 000	0.52	9.30	0.51	0.42	0.45	0.50	0.76	1.21	2.73	3.30
	1 000~1 500	0.44	4.21	0.44	0.30	0.40	0.41	8.23	-4.28	2.00	4.78
	>1 500	0.35	8.37	0.21	0.28	0.25	0.02	2.86	2.39	1.39	1.05
	均值	0.44	7.69	0.41	0.35	0.41	0.40	1.95	1.11	2.11	2.54
南疆	500~1 000	0.33	3.15	0.31	0.28	0.30	0.35	0.74	1.29	0.69	0.48
	1 000~1 500	0.28	5.53	0.43	-0.01	0.04	0.60	0.56	2.92	1.17	0.84
	>1 500	0.33	14.44	0.24	0.15	0.36	0.34	0.97	11.38	2.57	1.24
	均值	0.29	5.49	0.4	0.06	0.11	0.53	0.62	3.02	1.14	0.79
全疆	均值	0.35	10.35	0.35	0.15	0.24	0.46	1.38	3.09	1.76	1.42

chinaXiv:201908.00024v1

ChinaXiv合作期刊

幅度均大于南疆,且春、秋、冬季的降水量增幅北疆大于南疆。

研究区地形复杂,增温幅度在不同海拔带上也存在着明显差异。按海拔高度将北疆分为 0 ~ 500、500 ~ 1 000、1 000 ~ 1 500、1 500 m 以上四个海拔带,南疆分为 500 ~ 1 000、1 000 ~ 1 500、1 500 m 以上三个海拔带。500 ~ 1 000 m 海拔带,北疆年度和四季气温和降水增幅(夏季除外)比南疆大;1 000 ~ 1 500 m 海拔带,北疆年度和四季(冬季除外)增温幅度大于南疆。年度和夏季降水增幅大的地区是南疆,北疆春、秋、冬季降水增幅较南疆大;1 500 m 以上海拔带年均气温增幅北疆大于南疆,四季(夏季除外)气温增幅南疆大于北疆,而年度、四季(春季除外)降水增幅都是南疆较高(表 1)。新疆中低海拔四季温度增幅较大,中高海拔降水增幅较大。大地形的抬升迫使气流垂直运动,使降水量增加。

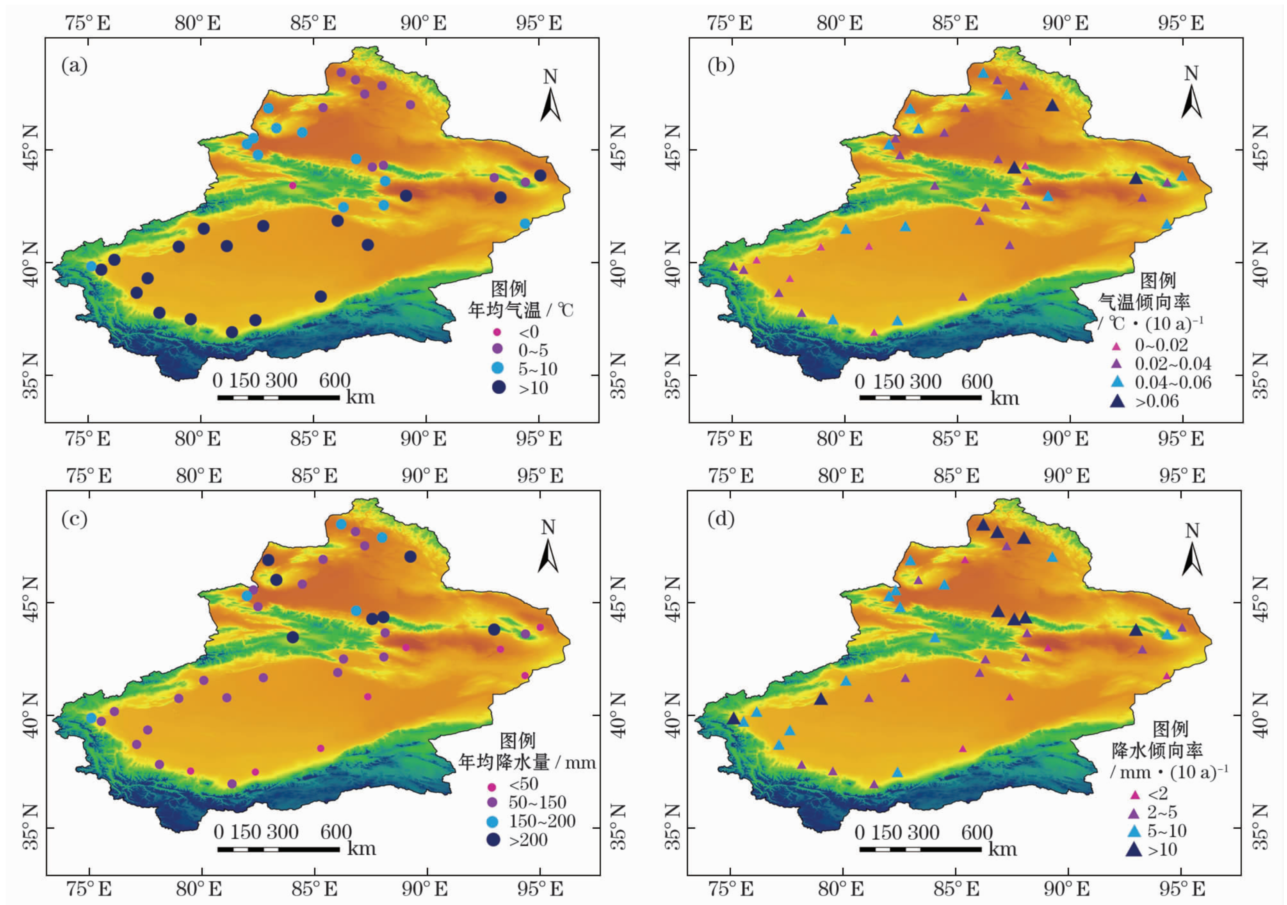
3.2　气温与降水量的空间分布特征

分析新疆 1958—2017 年各站点年均气温及其变化趋势(图 3),可清晰直观地看出气温变化趋势的空间分布特征。由图 3a 可知,整个研究区各个站点气温呈现出南部高而北部低的空间格局,南部塔里木盆地周边气象站年均气温最高,北部年均气温低。全疆年均气温均呈现增加趋势(图 3b),但增温幅度不一致,总体北疆增温幅度较南疆大,具体表现为西北部、东北部、中部增温较快,沿塔里木盆地西南部、东部增温较慢,表现出区域差异性。

研究区年均降水量整体呈北部多、南部低的空间格局(图 3c)。分析降水变化趋势的空间分布情况(图 3d),可以得出北疆的降水增加幅度最快,西南部次之。由于天山山脉横贯新疆,大地形的存在迫使气流垂直运动,增加了山区降水量。因此新疆形成两种截然不同的气候类型,天山以北为温带草原气候,年均降水量偏多,天山以南为温带沙漠气候,降水量偏少。

3.3　气温与降水量的突变检验

3.3.1　北疆气候要素突变检验　基于北疆气候要



审图号:GS(2016)1585 号

图 3　年均气温(a)及其变化趋势(b)和年均降水量(c)及其变化趋势(d)

Fig. 3　Average annual temperature (a) and its variation trend (b) and average annual precipitation (c) and its variation trend (d)

chinaXiv:201908.00024v1

ChinaXiv合作期刊

素突变检验分析表明(图4a~4d),北疆0~500 m海拔带年均气温从1982年开始持续增温,在1962—1967年期间有短暂的增温,但并不显著,1999年开始超过临界值,气温开始显著增加。UF_k曲线与UB_k曲线在置信水平区间内有交点,根据交点位置判断突变时间为1998年左右。500~1 000 m海拔带年均气温波动上升,1958—1961年、1968—1969年、1973—1974年期间气温有短暂的下降,1999年左右突变,2001年开始显著增加。1 000~1 500 m海拔带年均气温在1961—1968年期间气温有一段上升期,1979年开始持续上升,1991年后达到突变并开始显著增加。1 500 m以上海拔带气候变暖始于1961年,随后气温有两次短暂的下降,1998年以后达到显著性水平,1997年发生突变。

由北疆年均降水量突变结果可知(图4e~4h),北疆0~500 m海拔带年均降水量自1987年开始增加,2003年后年均降水量显著增加,期间于1997年左右达到突变。500~1 000 m海拔带年均降水量自1984年后开始增加,1993年后达到显著增加,1988年左右突变。1 000~1 500 m海拔带2002年后开始增加,无突变点。1 500 m以上海拔带年均降水量波动上升,1988年以后开始持续上升,无突变点。

分析北疆气候要素的突变情况表明,北疆各个海拔带的年均气温均有突变,年均降水量在低海拔区有突变,高海拔区无突变,可见在全球气候变暖的大背景下,北疆气温对全球气候变化的响应较敏感;低海拔区受气候变暖的影响,冰川积雪融化,使得降水量增加,对气候变化的响应也较敏感,而高海拔地区年均降水量无突变情况,对气候变化的响应不太明显。

3.3.2 南疆气候要素突变检验 基于南疆M-K突变检验分析表明(图5a~5c),南疆500~1 000 m海拔带年均气温自1981年开始增温,1992年以后显著增温,无突变点。1 000~1 500 m海拔带1980年后开始增温,2002年以后显著增温,2001年以后发生突变。1 500 m以上海拔带气温波动上升,1985年以后开始持续增温,1989年后发生突变,1994年以后显著增温。

由南疆年均降水量突变检验结果可知(图5d~5f),南疆500~1 000 m海拔带年均降水量1988年以后开始持续上升,无突变点。1 000~1 500 m海拔带1989年后开始持续增加,在1990年前(1966年左右、1971—1977年期间)有两次短暂的增温。2011年以后显著增加,期间于2001年左右突变。1 500 m以上海拔带年均降水量波动上升,始于1958年,在1978—1981年、1983—1991年出现两次波动,年均降水量出现短暂的下降,无突变点。

整体来看,近60 a来南疆年均气温在高海拔区

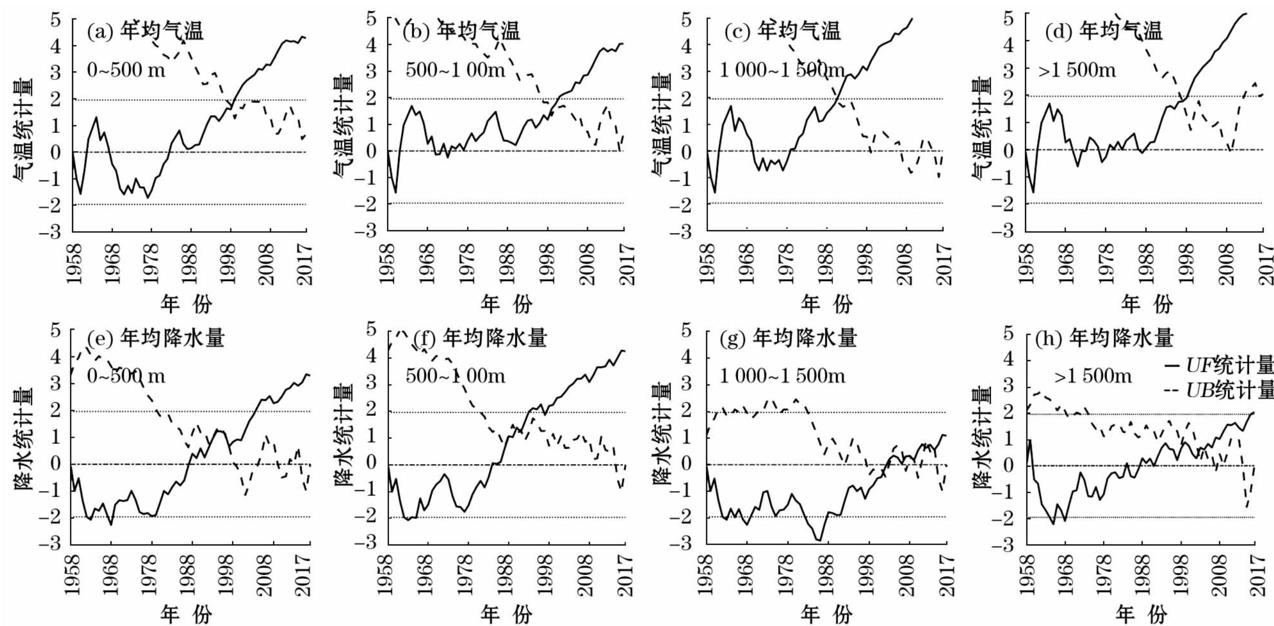


图4 北疆不同海拔带气候要素M-K检验(a-d年均气温、e-h年均降水量)

Fig. 4 M-K test of climatic factors in different elevation zones in northern Xinjiang (a-d: average annual temperature; e-h: average annual precipitation)

chinaXiv:201908.00024v1

ChinaXiv合作期刊

具有突变特征,对全球气候变化的响应较敏感,而由于地形较为闭塞,加上气温较高,南疆的年均降水量偏少,突变特征不明显,对全球气候变化响应不敏感。

3.4　年均气温和年均降水量变化趋势与海拔的关系

对研究区不同海拔带气温变化趋势分析表明(图 6a),年均气温倾向率与海拔高程总体呈负相关,表明新疆年均气温的增暖速率总体随海拔增加而减少,但增温幅度与海拔高度的变化并不是简单的线性关系,在不同海拔带内部还存在一定的差异,0 ~500 m、500 ~1 000 m、1 500 m 以上海拔带,各个站点增温幅度变化趋势与总体相似,均随海拔升高而减小;而 1 000 ~1 500 m 海拔带的增温幅度随海拔增高而增加。

对研究区不同海拔梯度上降水变化趋势分析表明(图 6b),年均降水量总体上呈随海拔升高而增加的态势,不同海拔带内部存在差异,其中 0 ~500 m、1 500 m以上海拔带年均降水量的变化趋势随海拔升高而增加,而 500 ~1 000 m、1 000 ~1 500 m 以上海拔带的年均降水量变化趋势随海拔升高而减小。

4　结 论

利用新疆1958—2017年长时间序列的气温和

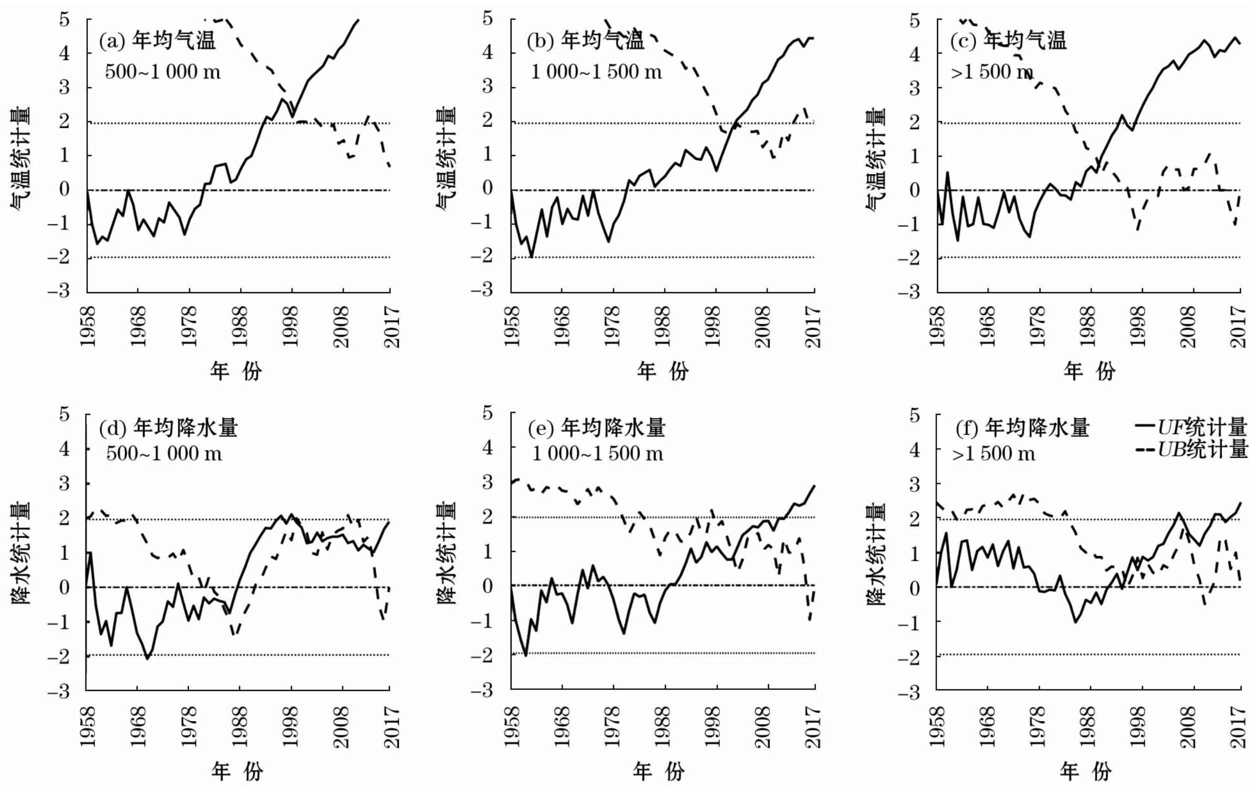


图 5　南疆不同海拔带气候要素 M-K 检验(a-c 年均气温、d-f 年均降水量)

Fig. 5　M-K test of climatic factors in different elevation zones in southern Xinjiang (a-c:average annual temperature; d-f:average annual precipitation)

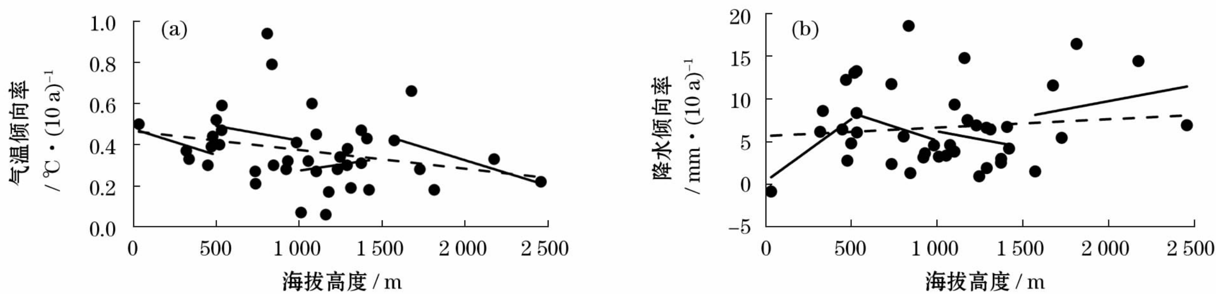


图 6　研究区 41 个站点气温降水变化趋势与海拔的关系

Fig. 6　Relation of temperature(a), precipitation (b) change trend to altitude at 41 stations in the study area

chinaXiv:201908.00024v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201908.00024v1

降水数据,采用回归分析、气候趋势法、M-K 突变检验等分析方法对研究区近 60 a 来不同海拔带气候变化的时间和空间特征进行分析,得出以下主要结论:

(1)在时间尺度上,新疆年均气温和年均降水量总体呈上升趋势,且年均气温北疆 < 全疆 < 南疆,年均气温增幅都较大,其中北疆增温幅度最大;降水量的变化趋势比温度明显,北疆年均降水量比南疆多,增幅也比南疆大。从四季变化趋势来看,全疆四季气温增幅冬季最大,夏季最小;四季降水增幅夏季最大,春季最小。北疆四季平均气温增幅均大于南疆(冬季除外),四季降水量增幅北疆大于南疆(夏季除外)。

(2)在空间尺度上,整个研究区气温南高北低,但增温幅度不一致,总体北疆增温幅度较南疆大,表现出区域差异性;研究区年均降水量整体北多南少。北疆降水增幅最快,西南部次之。另外年均气温与年均降水量变化趋势与海拔也有一定的关系,年均气温倾向率总体随海拔增加而减少,年均降水量总体上随海拔升高而增加,但增温幅度与海拔变化并非简单的线性关系,在不同海拔带内存在差异。

(3)气温降水突变检验结果表明,北疆各海拔带年均气温突变明显,且发生在 20 世纪 90 年代,而年均降水量突变也只发生在低海拔区;南疆气温突变主要发生在高海拔区,降水突变只发生在 1 000 ~ 1 500 m 海拔带。可见北疆年均气温对全球气候变化的响应较为敏感,年均降水量在低海拔区较高海拔区的响应敏感;南疆气温响应较敏感,降水量偏少,突变不明显,对气候变化的响应不敏感。

本文揭示新疆不同海拔高度气候变化的规律及空间分布特征,但具体变化原因还未定性定量化,主要由于气候变化是多种要素综合作用的结果,各种因素相互制约、相互影响、共同作用,要明确具体变化原因还有待进一步研究。

参考文献(References)

[1] 徐飞,贾仰文,牛存稳,等. 横断山区气温和降水年季月变化特征[J]. 山地学报,2018,36(2):171 – 183. [XU Fei, JIA Yangwen, NIU Cunwen, et al. Variation character of annual, seasonal and monthly temperature and precipitation [J]. Mountain Research, 2018, 36(2):171 – 183.]

[2] 秦大河,THOMAS Stocker. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展,2014,10(1):1 – 6. [QING Dahe, THOMAS Stocker. Highlights of the IPCC working group 1 fifth assessment report [J]. Climate Change Research, 2014, 10(1):1 – 6.]

[3] 丁明军,李兰晖,张镱锂,等. 1971—2012 年青藏高原及周边地区气温变化特征及其海拔敏感性分析[J]. 资源科学,2014,36(7):1509 – 1518. [DING Mingjun, LI Lanhui, ZHANG Yili, et al. Temperature change and its elevation dependency on the Tibetan Plateau and its vicinity from 1971 to 2012 [J]. Resources Science, 2014, 36(7):1509 – 1518.]

[4] 李鹏飞,刘文军,赵昕奕. 京津冀地区近 50 年气温、降水与潜在蒸散量变化分析[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(3):137 – 143. [LI Pengfei, LIU Wenjun, ZHAO Xinyi. The changes of atmospheric temperature, precipitation and potential evapo-transpiration in Beijing-Tianjin-Hebei region in recent 50 years [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(3):137 – 143.]

[5] REN G Y, DING Y H, ZHAO Z C, et al. Recent progress in studies of climate change in China [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2012, 29(5):958 – 977.

[6] SHI Y, SHEN Y, KANG E, et al. Recent and future climate change in northwest China [J]. Climatic Change, 2007, 80(3/4):379 – 393.

[7] 沈伟. 1953 – 2008 年新疆北部地区降水变化趋势分析[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(4):130 – 134. [SHEN Wei. Trend analysis of precipitation in northern Xinjiang during 1953 – 2008 [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2010, 21(4):130 – 134.]

[8] 苏里坦,宋郁东,张展羽. 近 40 a 天山北坡气候与生态环境对全球变暖的响应[J]. 干旱区地理,2005,28(3):342 – 346. [SU Litan, SONG Yudong, ZHANG Zhanyu. Response of the climate and ecological environment in northern slope of the Tianshan Mountains to global warming since recent 40 years [J]. Arid Land Geography, 2005, 28 (3):342 – 346.]

[9] 马建勇,潘婕,姜江,等. 北疆地区 1955—2009 年气温、降水变化特征的时间序列分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2012,6(2):18 – 24. [MA Jianyong, PAN Jie, JIANG Jiang, et al. The time series analysis of temperature and precipitation in Xinjiang northern region during 1955—2009 [J]. Desert and Oasis Meteorology, 2012, 6(2):18 – 24.]

[10] 王维霞,王秀君,姜逢清,等. 开都河流域上下游过去 50 a 气温降水变化特征分析[J]. 干旱区地理,2012,35(5):746 – 753. [WANG Weixia, WANG Xiujun, JIANG Fengqing, et al. Temperature and precipitation along the Kaidu River over the past 50 years [J]. Arid Land Geography, 2012, 35(5):746 – 753.]

[11] 薛燕,韩萍,冯国华. 半个世纪以来新疆降水和气温的变化趋势[J]. 干旱区研究,2003,20(2):127 – 130. [XUE Yan, HAN Ping, FENG Guohua. Change trend of the precipitation and air temperature in Xinjiang since recent 50 years [J]. Arid Zone Research, 2003, 20(2):127 – 130.]

[12] 刘波,冯锦明,马柱国,等. 1960 – 2005 年新疆气候变化的基本特征[J]. 气候与环境研究,2009,14(4):414 – 426. [LIU Bo, FENG Jinming, MA Zhuguo, et al. Characteristics of climate changes in Xinjiang from 1960 to 2005 [J]. Climatic and Environmental Research, 2009, 14(4):414 – 426.]

[13] 施能,陈家其,屠其璞. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报,1995,(4):431 – 439. [SHI Neng, CHEN Jiaqi, TU Qipu. 4-phase climate change features in the last 100

ChinaXiv合作期刊

years over China[J]. Acta Meteorologica Sinica,1995,(4):431 – 439.]

[14] 张涵丹,卫伟,薛莲. 基于 R/S 分析和 Mann-Kendall 检验的定西市气温降水变化特征[J]. 水土保持研究,2015,22(6):183 – 189.[ZHANG Handan,WEI Wei,XUE Sha. Analysis on the variation of temperature and precipitation in Dingxi based on R/S and Mann-Kendall test[J]. Research of Soil and Water Conservation,2015,22(6):183 – 189.]

[15] YUE S,PILON P,CAVADIAS G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series[J]. Journal of Hydrology,2002,259(1):254 – 271.

[16] 张璐,周跃. Mann-Kendall 检验及其在河流悬沙浓度时间序列分析中的运用[J]. 新疆环境保护,2007,(3):19 – 22.[ZHANG Lu,ZHOU Yue. Mann-Kendall test and appling it in time order analvzing of river suspended sand concentration[J]. Environmental Protection of Xinjiang,2007,(3):19 – 22.]

Spatial and temporal characteristics of climate change at different altitudes in Xinjiang in the past 60 years

ZHANG Yin[1,2], TUERXUNBAI Gulixian[3], SU Li-tan[1], LIU Qian-qian[1,2]

(1 *State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology*, *Xinjiang Institute of Ecology and Geography*, *CAS*, *Urumqi* 830011, *Xinjiang*, *China*; 2 *College of Resources and Environment*, *University of Chinese Academy of Science*, *Beijing* 100049, *China*; 3 *Xinjiang Institute of Water Resources and Hydropower Research*, *Urumqi* 830049, *Xinjiang*, *China*)

Abstract: Global warming is one of the hotspots in global climate change research. Climate is an important part of nature, the basis for human survival and development, and an important condition for sustainable social development. But in recent years, with the intensification of human activities, the global climate is getting warmer. Located in arid and semi-arid regions, Xinjiang, China, has complex topography and more obvious climate change. In recent years, the average annual temperature and precipitation in Xinjiang have been on the rise, which has aroused widespread concern of domestic and foreign experts and scholars. Therefore, the discussion of the relationship between climate change and altitude in this region has important reference significance for global climate change research, as well as guiding significance for promoting sustainable development of local economy and rational utilization of resources. Based on the long-term temperature and precipitation data of 41 meteorological stations in Xinjiang from 1958 to 2017, and using ArcGIS, Matlab and other software, this paper uses regression analysis, climate trend method, Mann-Kendall (M-K) trend analysis and mutation test and other methods to analyze the time and space characteristics of climate change in different altitude zones in the research area in the past 60 years. The results show that from 1958 to 2017, the average annual temperature and precipitation of Xinjiang show an upward trend, but the increase range has time and space differences. In terms of time, the average temperature increase range of four seasons in northern Xinjiang is greater than that in southern Xinjiang (except winter), and the increase rate of four seasons in northern Xinjiang is greater than that in southern Xinjiang (except summer). Spatially, the increase of temperature and precipitation in northern Xinjiang was greater than that in southern Xinjiang. The temperature of each station in the study area showed a spatial pattern of high in the south and low in the north, with the highest average annual temperature of the meteorological stations around the Tarim Basin in the south and low average annual temperature in the north. However, the range of temperature increase was not consistent. In general, the range of temperature increase in northern Xinjiang was larger than that in southern Xinjiang, showing regional differences. The average annual precipitation is high in the north and low in the south. The trend rate of temperature decreases with the increase of altitude, and the change rate of annual precipitation increases with the increase of altitude. The results showed that the average annual temperature in the middle and low altitude zone increased greatly, and the average annual precipitation in the middle and high-altitude zone increased greatly. To sum up, under the influence of global warming, the average annual temperature and precipitation in Xinjiang have been on the rise in the past 60 years. In particular, northern Xinjiang is more sensitive to global warming than southern Xinjiang.

Key words: Xinjiang; different elevation zones; climate change; regression analysis; Mann-Kendall test

chinaXiv:201908.00024v1